PART4 物質循環

目標　物質循環における平均滞留時間とは何かを説明し，計算できる。

Chapter1　物質循環

地球上にある物質の多くは，ただそこにあるだけでなく，長い時間のうちに形を変え，循環しています。ここでは，その例について学びましょう。

水循環

・地球表層の水 地学基礎

地球表層の水のうち約（97% / 70%）は海水である。残りは雪氷と地下水が約半分ずつであり，川や湖，大気中などの水は全体の 0.01% 程度に過ぎない。

・水の移動と物質や熱の輸送

水はさまざまな物質を溶かし込んで輸送している。

また，液体の水は比熱が大きく，温まりにくく冷めにくい。そのため海流や熱塩循環の流れは熱輸送を担っている。

さらに，水は現在の地球表層の温度条件において，気体・液体・固体の間で状態変化する。そのため，水は水蒸気のもつ潜熱の形でも熱輸送を行っている。

・平均滞留時間

質量 M の水が入ったタンクがあり，このタンクへの水の単位時間あたりの流入量と流出量がともに F だとする。このとき，タンクに水分子の留まる平均時間を**平均滞留時間**といい，平均滞留時間 t は

$$t = \frac{M}{F}$$

と表される。

知っておこう

平均滞留時間は，タンクの中の水が内部で混ざることなく押し出されていくと考えたとき，タンク全体の水が完全に入れ替わるまでにかかる時間にあたります。

ここでの「タンク」は，水循環における「大気中の水蒸気」や「海水」などをモデル化したものです。

また，ここでは水を例に挙げましたが，他の物質の平均滞留時間も同じように考えることができます。

炭素循環

・炭素循環の概要

火成活動によって地球内部から地球表層に放出される炭素は，おもに CO_2 として温室効果ガスとなる。また，CO_2 は雨水に溶けて酸として（物理的風化 / 化学的風化）を引き起こす。

さらに，炭素は生物を構成する有機物や炭酸塩となる。海底に堆積・沈殿した有機物や炭酸塩はプレートの（発散 / 収束）によってマントルへと取り込まれ，地球表層から除去される。

・地球史と炭素循環

地球形成直後には CO_2 が大気の主成分となっていた。原始海洋が形成され，プレート運動が起こるようになると，CO_2 は炭酸塩として地球表層から除去されて減少した。

また，（古生代 / 中生代）のデボン紀から石炭紀にかけては大型の（シダ植物 / 裸子植物）が繁栄し，その遺がいが埋没することで大量の石炭が形成された。これは，地球表層の炭素を陸域の生物岩として除去する作用である。

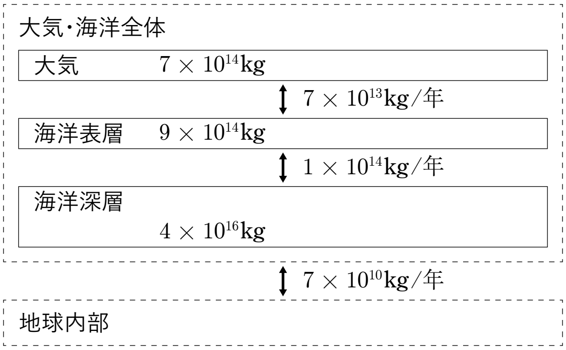
現在は，人類が化石燃料を利用している。これは，生物岩の形で除去されていた炭素を地球表層へと戻す作用だといえる。

まとめ

- 地球表層の水のうち約 97% は________であり，残りの大部分は雪氷と________である。
- 水は地球表層をめぐり，物質や熱を輸送している。
- 質量 M の水が入ったタンクがあり，単位時間あたり F の水が流入・流出しているとき，このタンクに水分子の留まる平均時間を______________といい，_____と表される。

Chapter2　演習問題

次の図は，地球の大気・海洋における炭素の存在量と移動量を模式的に示したものです。ここでは，炭素循環を例として平均滞留時間の考え方について確認していきましょう。ただし，図中の数値はすべて正確な数値として扱ってよいものとします。また，実際には大気と陸域との間などでも炭素のやり取りがありますが，ここでは簡単のために図中にあるもののみを考えます。



問題(1)　大気の炭素について述べた次の文章中の空欄［　ア　］～［　ウ　］に入る数値を上から 1 桁の概数で答えましょう。

ここでは大気と海洋表層との間の炭素のやり取りだけを考える。このとき，大気の炭素量が［　ア　］kg，大気への炭素の流入量と流出量がともに 1 年あたり［　イ　］kg なので，大気における炭素の平均滞留時間は［　ウ　］年と求められる。

問題(2)　問題(1)と同じように大気・海洋内部の炭素のやり取りを考えて，海洋表層と海洋深層における炭素の平均滞留時間をそれぞれ上から 1 桁の概数で答えましょう。

問題⑶　地球表層の炭素について述べた次の文章中の空欄［　**エ**　］に入る数値を上から 1 桁の概数で答えましょう。

ここでは大気と海洋全体を 1 つのまとまりとみて，その内部の炭素の平均滞留時間を求めよう。**問題⑴**・**問題⑵**と同じように考えると，この平均滞留時間は［　**エ**　］年となる。

問題⑷　化石燃料の利用について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。

人間活動による活発な化石燃料の燃焼を単純化したモデルとして，1 年あたり 1×10^{10} kg の炭素がちょうど 300 年間だけ大気に放出される状況を考える。

このとき，放出される時間は**問題⑴**で求めた大気における炭素の平均滞留時間より十分（長い ／ 短い）が，**問題⑶**で求めた大気と海洋全体における炭素の平均滞留時間より十分（長い ／ 短い）。

つまり，炭素の放出が始まると，その影響は速やかに大気全体へと広がる。大気中に放出された炭素は，やがて海洋へと運ばれて堆積岩として地球表層から除去されていく。地球表層から人間活動による炭素の放出の影響がなくなるのは，炭素の放出が（終わった直後 ／ 終わって長い時間が経過してから）のことである。

第16講　PART4　確認問題

問1　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

地球上にある物質の多くは形を変えながら循環している。水はさまざまな物質を溶かし込んで輸送している。また，液体の水は（　ア　），状態変化に伴い大量の（　イ　）が発生するという性質により，水は大量の熱を輸送している。

炭素は火成活動によって二酸化炭素として地球表層に放出される。二酸化炭素は水に溶けやすく，海水中で炭酸塩となって堆積したり，生物の作用で有機物になったりする。これらは（　ウ　）により，地球内部に取り込まれ，地球表層から除去される。一方，（　エ　）は除去された炭素を地球表層へ戻す作用だといえる。

(1)　空欄ア，イに入る語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：温まりにくく冷めにくい　　イ：潜熱
②　ア：温まりにくく冷めにくい　　イ：顕熱
③　ア：温まりやすく冷めやすい　　イ：潜熱
④　ア：温まりやすく冷めやすい　　イ：顕熱

(2)　空欄ウ，エに入る語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ウ：海流　　エ：化石燃料の消費
②　ウ：海流　　エ：植物の光合成
③　ウ：プレートの沈み込み　　エ：化石燃料の消費
④　ウ：プレートの沈み込み　　エ：植物の光合成

問2　物質の循環の中で，物質がある状態にとどまる時間を平均滞留時間という。大気中に含まれる水の量を M，単位時間に大気から出ていく量と入ってくる量をともに F とするとき，水の大気中での平均滞留時間を表す式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　MF　　②　$\dfrac{M}{F}$　　③　$\dfrac{F}{M}$　　④　$M-F$

第 16 講　大気・海洋の変動

PART1　対流圏と成層圏の変動

問題(1)　低い，極向き，低く

問題(2)　高い，西部

問題(3)　低い，高い，ラニーニャ，エルニーニョ，強く，高く

PART2　大気による物質輸送

問題(1)　春，秋，春

問題(2)　大きい，低緯度，低緯度から高緯度

問題(3)　南極，南半球，塩素，春，低温

PART3　都市とその周辺の大気

問題(1)　2 ～ 3 倍，ヒートアイランド現象

問題(2)　安定，不安定，条件付き不安定，絶対安定，起こりにくい，逆転層の下部に留まりやすい

問題(3)　二酸化炭素，一酸化窒素や二酸化窒素，二酸化硫黄，季節風

PART4　物質循環

問題(1)　ア：7×10^{14}　イ：7×10^{13}　ウ：10

問題(2)　5 年，400 年

問題(3)　エ：60 万

問題(4)　長い，短い，終わって長い時間が経過してから

第16講　PART4　確認問題　解答

問1

（1）①

解説：
水は温まりにくく冷めにくい（比熱が大きい），状態変化の際に大量の潜熱を発生するという性質をもつ。

（2）③

解説：
海底に沈殿した有機物や炭酸塩はプレートの沈み込みによって地球内部のマントルへと取り込まれる。人間の活動による石炭などの化石燃料の消費は，炭素を地球表層に戻す作用である。

問2　②

解説：
平均滞留時間は，容量 M のタンク内の物質があり，単位時間あたりの流入量と流出量をともに F とするとき，タンク全体の物質が完全に入れ替わるのに要する時間を表す。